

Г. П. АВДЕЙКО, А. П. ХРЕНОВ, Г. Б. ФЛЕРОВ, П. И. ТОКАРЕВ,
В. А. ШИРОКОВ, И. А. МЕНЯЙЛОВ, А. М. ЧИРКОВ,
О. Н. ВОЛЫНЕЦ, Ю. М. ДУБИК, Л. П. ВЕРГАСОВА, Г. П. ПОНОМАРЕВ

ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА АЛАИД В 1972 г.

1. Краткие сведения о вулкане. Вулкан-остров Алаид (о. Атласова) расположен на севере Курильской островной дуги (рис. 1). Он представляет собой правильный усеченный конус, поднимающийся непосредственно со дна Охотского моря. Высота его над уровнем моря составляет 2339 м, а общая высота конуса над дном Охотского моря — около 3000 м. Наиболее полные сведения о вулкане содержатся в работах Г. С. Горшкова (1957, 1967) и Е. К. Мархинина (1967).

Склоны вулкана покрыты почти сплошным плащом рыхлого пирокластического материала, за исключением южного склона, где в обрывах прорезающей склон депрессии «видно типичное для стратовулканов чередование лав и пирокластических продуктов» (Горшков, 1967, стр. 49). У подножия конуса располагаются многочисленные (более 30) небольшие шлаковые конусы, нередко с лавовыми потоками. Характерно, что большинство их приурочено к полосе запад-северо-западного направления, проходящей через центральный кратер. Описываемое извержение, названное нами Олимпийским прорывом, также приурочено к этой зоне (см. рис. 1). По мнению Г. С. Горшкова (1967), эта зона контролируется тектонической линией, перпендикулярной общему простиранию дуги.

По приводимым в литературе сведениям, породы вулкана Алаид, излившиеся как из центрального, так и из побочных кратеров, довольно однообразны и относятся к оливин-авгитовым базальтам и андезитобазальтам. По химическому составу они отличаются от средних составов вулканических пород северной группы Курильских островов повышенным содержанием щелочей, что, в соответствии с представлениями Х. Куно (1970), Е. К. Мархинина, Д. С. Стратулы (1971), является отражением его положения на западной стороне Курильской островной дуги и соответственно большей глубины сейсмофокальной плоскости, являющейся, как полагают, зоной генерации магмы. Последнее извержение вершинного кратера произошло в 1894 г. (Горшков, 1967). Даты извержений побочных кратеров неизвестны, за исключением извержения кратера Такетоми в 1933—1934 гг. В результате этого извержения, начавшегося в подводных условиях, образовался островок высотой 118 м, который затем косой соединился с о. Алаид.

2. Ход извержения. 19 июня 1972 г. в Институт вулканологии поступила телеграмма со спасательного судна «Зевс», в которой указывалось, что судно в 00 час.¹ 19 июня вошло в зону пеплопада и в 0,4 час. вышло из нее. При этом в течение 8 час. судно испытывало резкие толчки волн.

¹ Здесь и далее время камчатское.

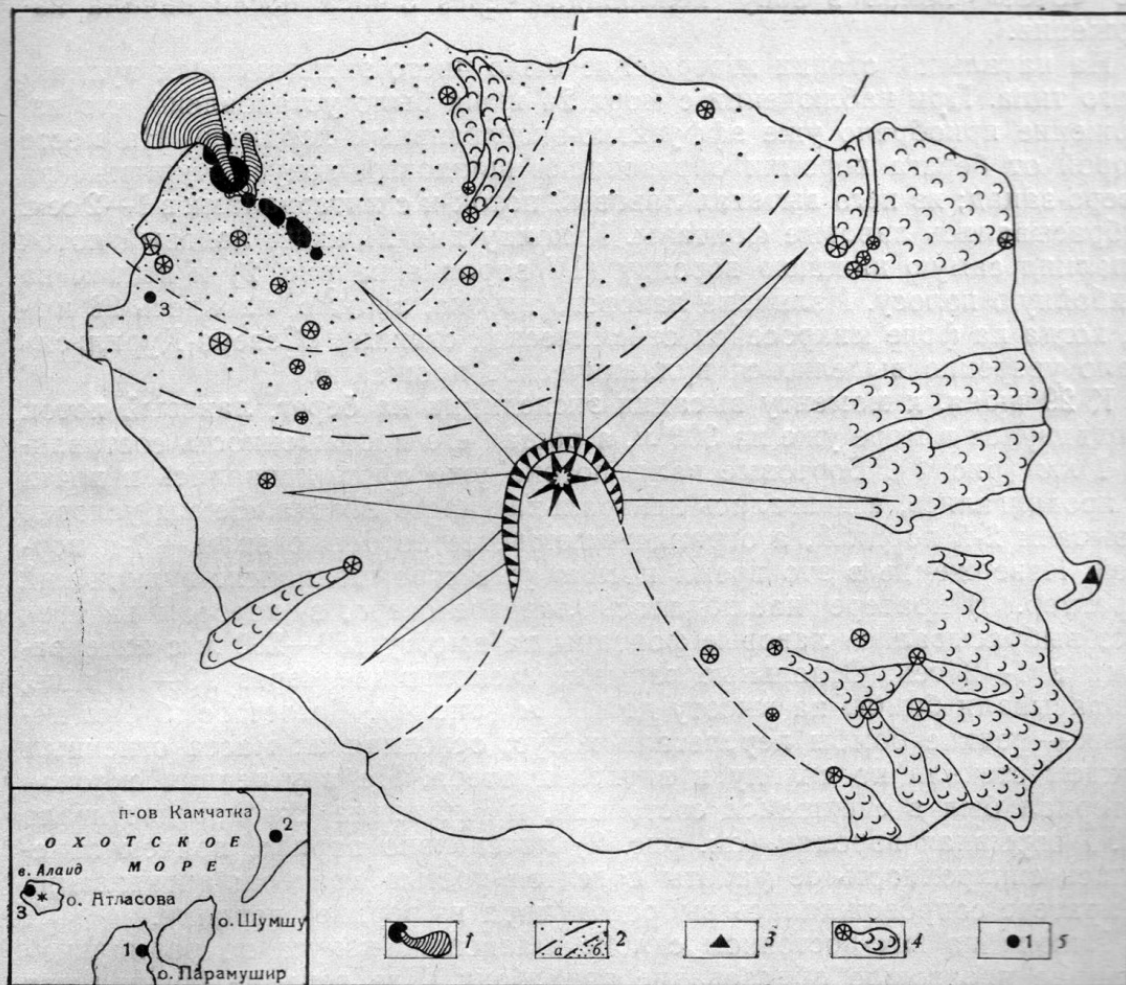


Рис. 1. Схема проявлений активности в. Алаид (по Г. С. Горшкову с дополнениями):

1 — взрывные воронки, шлаковый конус и лавовый поток прорыва Олимпийский; 2 — ореол распространения пепла: а — внешняя зона с мощностью пепла от 5 см до 10 см; б — внутренняя зона с мощностью пепла от 10 см до 5,0 м; 3 — кратер Такетоми извержения 1933—1934 гг.; 4 — древние шлаковые конусы и лавовые потоки; 5 — сейсмостанции: «Северо-Курильск» (1), «Паужетск» (2), «Алаид» (3)

Во время облета 20 июня (Г. П. Авдейко, И. В. Вайнштейн, Г. Б. Флеров, А. П. Хренов, А. М. Чирков) было установлено, что извержение происходит на северо-западном подножии вулкана Алаид, где наблюдалась серия из шести взрывных воронок, линейно расположенных по радиусу от вершины вулкана цепочкой общей протяженностью более 2 км (рис. 2). Из воронок вылетали бомбы, падавшие на удалении до 2 км. Эруптивное облако поднималось до 8 км. При наблюдении с воздуха были видны также взрывы и из подводной части вулкана, на продолжении цепочки воронок, примерно в 2—3 км от берега. Необходимо сразу же указать, что при проведенном затем эхолотном промере с судна следы подводных воронок не обнаружены. Однако сеть промеров была редкой.

Время начала извержения точно не зарегистрировано. По результатам опроса населения в Северо-Курильске и в пос. Озерном, а также рыбаков, работавших в этом районе, извержение началось в ночь с 17 на 18 июня. На основе анализа хода сейсмической активности, связанной с деятельностью вулкана, П. И. Токарев делает вывод, что извержение могло начаться в период с 20 до 22 час. 18 июня. В этом слу-

чае «Зевс» попал в зону пеплопада через 3 часа после начала извержения.

На начальной стадии извержение было чисто взрывным вулканического типа. При наблюдении с моря 24 июня было установлено, что извержение приобрело уже эффузивно-взрывной характер. На месте второй от берега воронки образовался шлаковый конус, открытый на северо-запад; из него вытекал лавовый поток и с интервалами в 1—2 сек. выбрасывались лавовые фонтаны. К концу дня 24 июня лавовый поток заполнил самую нижнюю воронку (IV воронка на рис. 2) и вышел на прибойную полосу. Излияние лавового потока, видимо, началось 22 июня, когда на фоне микросейсмической станции «Северо-Курильск» стало уверенно выделяться вулканическое дрожание.

К 29 июня, к моменту высадки экспедиции на берег, лавовый поток продвинулся в море уже на 300 м, а общая его протяженность составляла 1 км (рис. 3). Бортовые валы потока уже сформировались и почти не продвигались, а двигалась центральная часть потока. Ее мы условно называем 2-й порцией, а ограничивающие ее бортовые валы — 1-й порцией. Извержение в это время носило уже стромболианско-вулканический характер. В кратере наблюдалось лавовое озеро, в котором из трех мест выбрасывались лавовые фонтаны на высоту 160—200 м с интервалами в 1—2 сек. Отдельные взрывы, следовавшие через 10—15 мин., выбрасывали бомбы на высоту до 600 м (рис. 4). Разлет бомб был невелик — редкие бомбы перелетали конус; основная их масса огненным дождем стекала по склону и внутрь кратера. На внутренних склонах материал был в спекшемся состоянии, и крутизна склонов достигала 60° . I взрывная воронка (см. рис. 2) интенсивно парила, причем отмечалась синхронность ее работы с деятельностью кратера: активизация в кратере сопровождалась выбросом пара из верхней воронки.

7 июля на юго-восточном склоне шлакового конуса по радиальной трещине произошло образование трех бокк. Две верхние бокки были чисто взрывные (рис. 5), а нижняя — сначала взрывно-эффузивная, затем — только эффузивная. Какой-либо зависимости между взрывной деятельностью бокк и основного кратера не установлено.

В результате образования бокк через два дня изменилась обстановка в основном кратере: из-за оттока лавы от главного жерла уровень лавового озера, из которого шли взрывы, понизился, произошло частичное обрушение внутренней северной стенки кратера. В то же время из основного кратера началось поступление новой — 3-й порции лавы, менее вязкой и более газонасыщенной. Лава двумя рукавами вдоль бортовых валов 2-й порции устремилась к морю со скоростью 180 м/час. Одновременно с этим происходило излияние лавового потока и из нижней бокки. Этот лавовый поток разбился на четыре рукава, один из которых лавопадом спускался в III воронку (см. рис. 2). Скорость фронта восточного рукава этого лавового потока составляла всего 1 м/час. Температура лавы в трещине на фронте потока, замеренная оптическим пирометром ОПИР-17, составляла 1020° . Как показали дальнейшие исследования, по петрографическому и химическому составу, а также по характеру структур и текстур лавы, изливавшиеся из бокки, практически неотличимы от изливавшихся одновременно с ними из основного жерла лав 3-й порции.

12 июля активизировался основной кратер. Последовало шесть сильных взрывов с интервалом в 12 час. Разлет бомб диаметром 0,5 м достигал 1,5 км. В результате взрывов уровень лавового озера еще более понизился и в кратере вскрылась трещина северо-западного простирания длиной около 100 м, на которой были видны четыре жерла диамет-

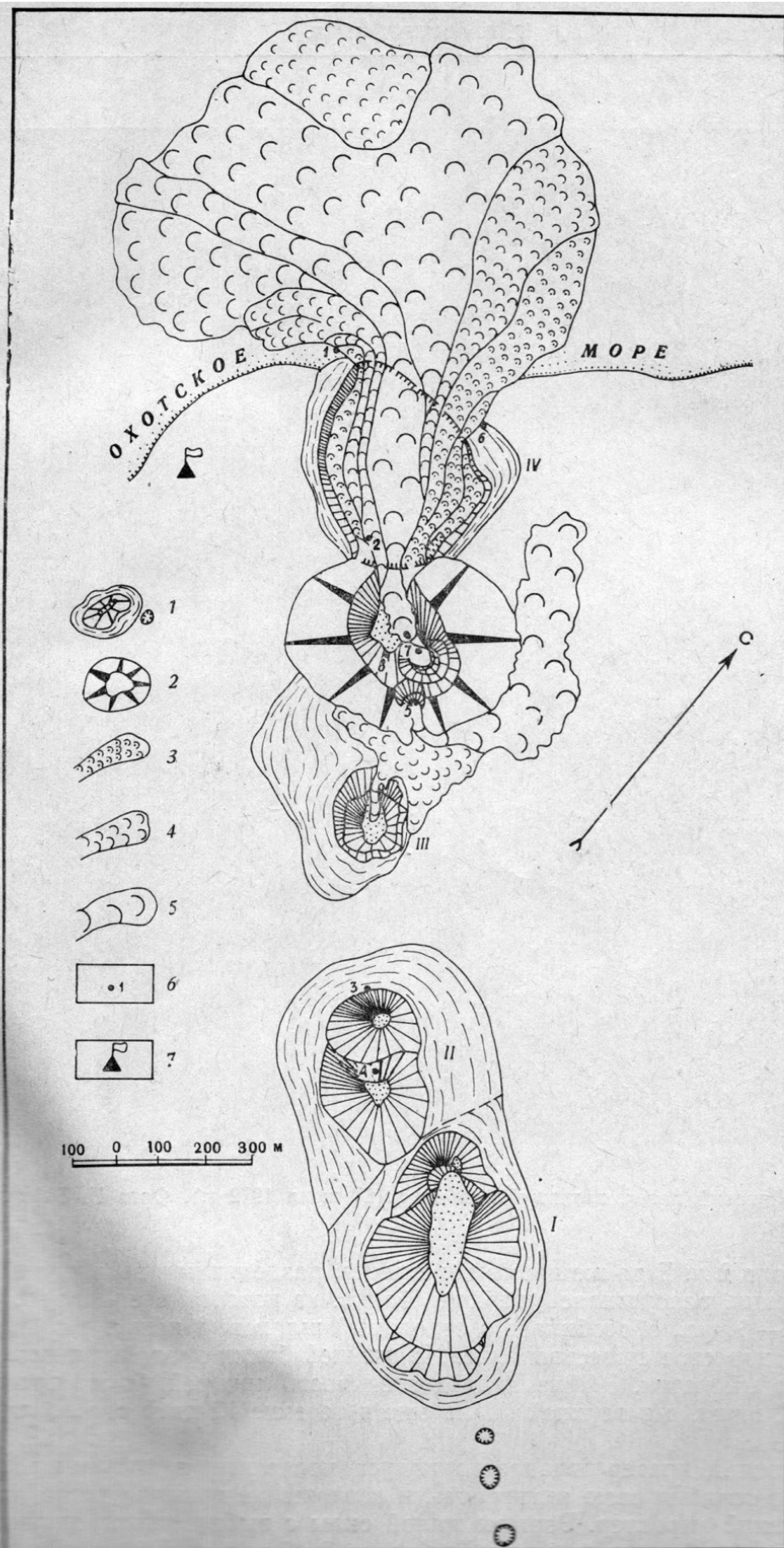


Рис. 2. Схематическая карта Олимпийского прорыва, июнь — сентябрь 1972 г.

I — вулканические конусы и кратеры; II — вулканический конус; III — лавовый поток, первая и вторая порции; IV — лавовый поток, третья порция; 1 — лавовый поток, четвертая порция; 2 — точки отбора проб; 3 — районный центр вулканического



Рис. 3. Лавовый поток, излившийся в море (27 июня 1972 г.). Фото И. Вайнштейна.

ром около 2 м. В то же время перемычка, разделявшая верхнюю и среднюю бокки, разрушилась; верхняя бокка, из которой следовали взрывы через 5—6 час., обособилась в отдельный шлаковый конус, а средняя — прекратила свое существование. Из нижней бокки продолжал изливаться лавовый поток. Эффузивная деятельность нижней бокки прекратилась 22 июля, а в верхней бокке еще в течение 12 дней стояло лавовое озеро.

Основной кратер шлакового конуса после шести сильных взрывов заметно ослабил свою активность, и извержение приняло чисто стромболианский характер. Взрывы малой силы с выбросами небольшого количества бомб и пепла следовали через 5—7 час., в интервалах между взрывами из жерла поднимался парогазовый столб, нагруженный пеплом.

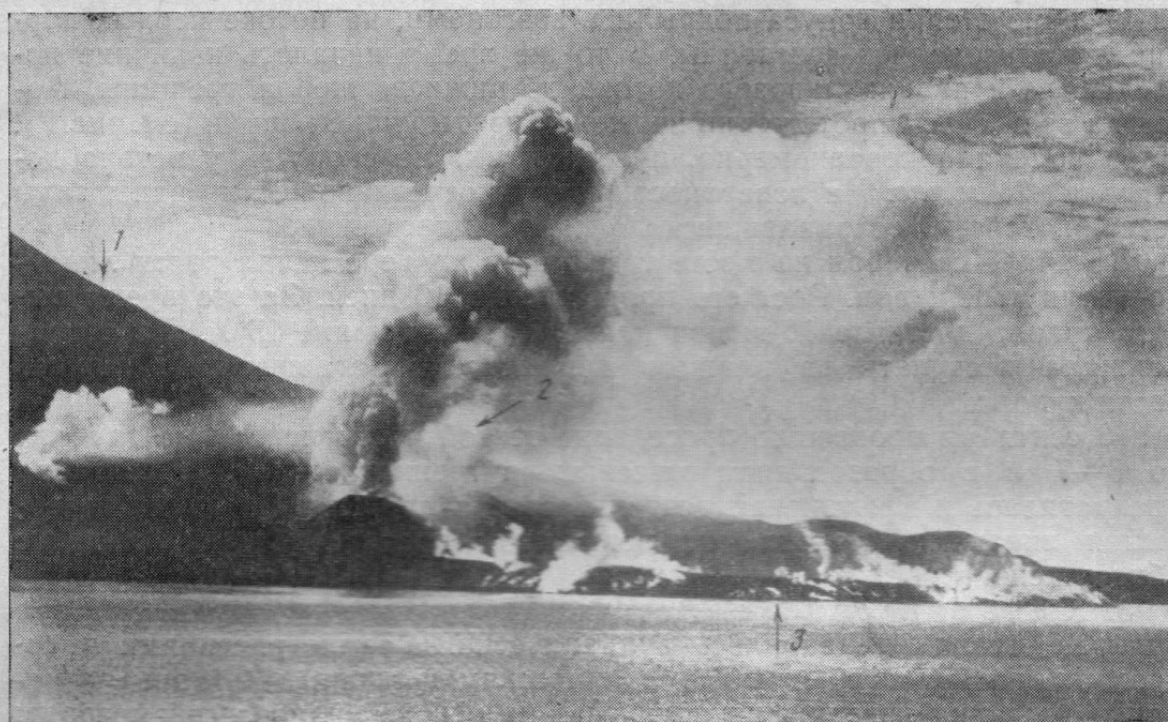


Рис. 4. Общая картина извержения 15 июля 1972 г. Фото И. Вайнштейна

1 — верхняя (I) эксплозивная воронка; 2 — шлаковый конус, 3 — лавовый поток

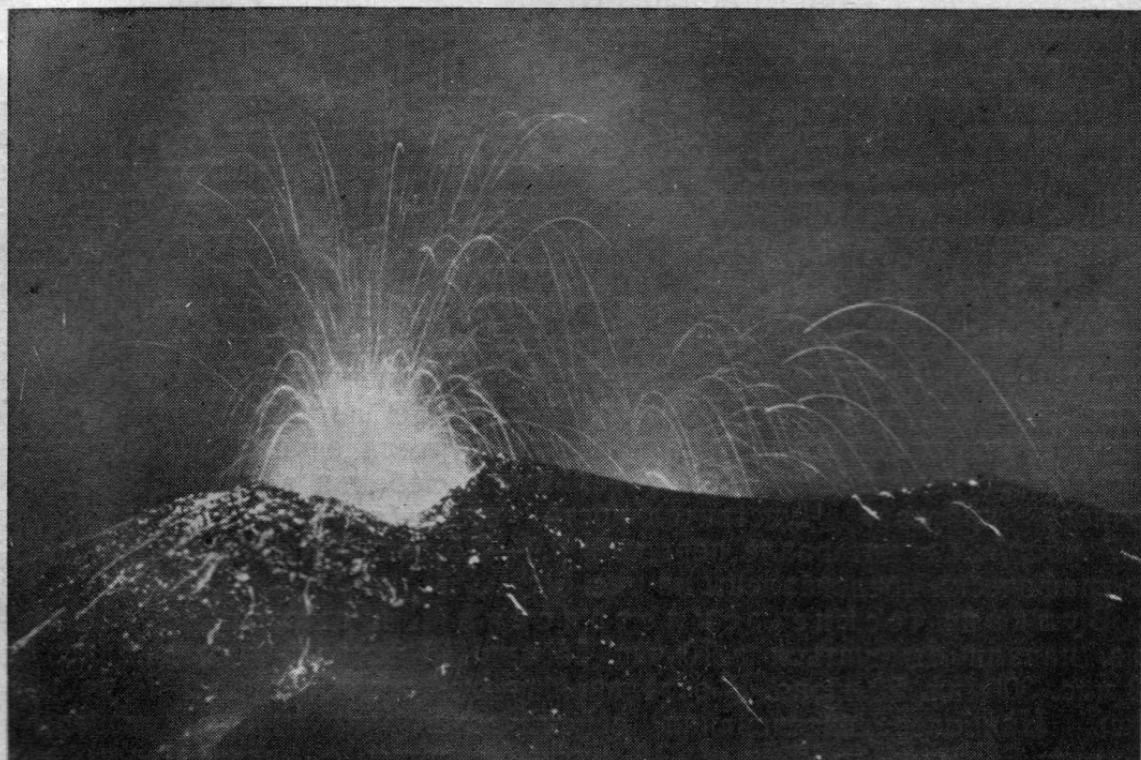


Рис. 5. Эксплозивные выбросы из верхней бокки и из основного кратера (13 июля 1972 г.). Фото И. Вайнштейна

К концу июля взрывная деятельность практически прекратилась: внутренние стенки конуса покрылись возгонами, на потоке первых порций локализовались фумаролы. В то же время началось излияние последней, 4-й порции лавового потока из нижнего жерла трещины. Поток на всем своем протяжении перекрыл предыдущие порции (см. рис. 2). Лава вытекала неравномерно, пульсациями. Ее скорость у истока достигала 24 м/час. На поверхности потока отчетливо были видны вали течения, хорошо сохранившиеся до конца извержения.

В начале сентября на месте трещины в кратере начал расти линейно-вытянутый купол. Рост его продолжался 10 дней. За это время высота купола достигла 10 м при длине 80 м и ширине 15 м. Лава продолжала поступать из нижнего жерла, располагавшегося в нижней части купола.

10 сентября произошло проседание осевой части купола на глубину до 5—7 м с образованием отвесных внутренних стенок. 11 сентября прекратилась и эффузивная деятельность на прорыве. За время извержения никаких изменений на вершинном кратере вулкана Алаид не обнаружено.

3. Сейсмические явления. Извержение побочного кратера вулкана Алаид предварялось вулканическими землетрясениями и сопровождалось непрерывным вулканическим дрожанием. Данные о начальной стадии извержения получены на основе анализа сейсмограмм сейсмической станции «Северо-Курильск» СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, а о ходе извержения — по записям сейсмической станции «Алаид», установленной Институтом вулканологии на о. Алаид.

Сейсмическая станция «Северо-Курильск» расположена в 50 км от места прорыва побочного кратера. При обработке материала использовались записи комплекта аппаратуры регионального типа со столообразной частотной характеристикой в интервале периодов 0,2—0,8 сек. и увеличением около 20 000.

Временная сейсмическая станция «Алаид» была установлена в базовом лагере на расстоянии 3 км от побочного кратера и работала с 7 июля по 16 августа. Станция включала два сейсмических канала и один для регистрации воздушных волн с помощью микробарографа. Регистрация велась на осциллографе ОСБ-VI со скоростью развертки 180 мм/мин. Сейсмографы были установлены на скальном грунте, а микробарограф подвешен на упругом подвесе. Основной сейсмический канал со столообразной частотной характеристикой в интервале частот 1—10 гц работал с увеличением 1000 в период с 7 июля по 7 августа и с увеличением 5000 в период 7—16 августа. Загрубленный канал в течение всего времени работал с увеличением 250. Оба сейсмографа регистрировали горизонтальные колебания в направлении побочного кратера. Чувствительность микробарографа была около 0,07 мбар/мм в интервале периодов 0,4—1,5 сек. Полученные результаты графически представлены на рис. 6.

Вулканические землетрясения, предварявшие извержение, начали отмечаться в 10 час. 54 мин. 18 июня и продолжались до 23 час. 30 мин. 20 июня. В остальной период землетрясения не отмечались. Наиболее интенсивная сейсмическая активность отмечена с 10 час. 54 мин. до 22 час. 18 июня, и затем она резко снизилась (см. рис. 6). По данным сейсмостанции «Северо-Курильск», энергетический класс землетрясений не превышал 8,4 по шкале С. А. Федотова 1968 г. (Федотов, 1972). Графики условных деформаций и частоты землетрясений являются типичными для прорывов побочных кратеров, и по ним можно уверенно сказать, что извержение началось не ранее

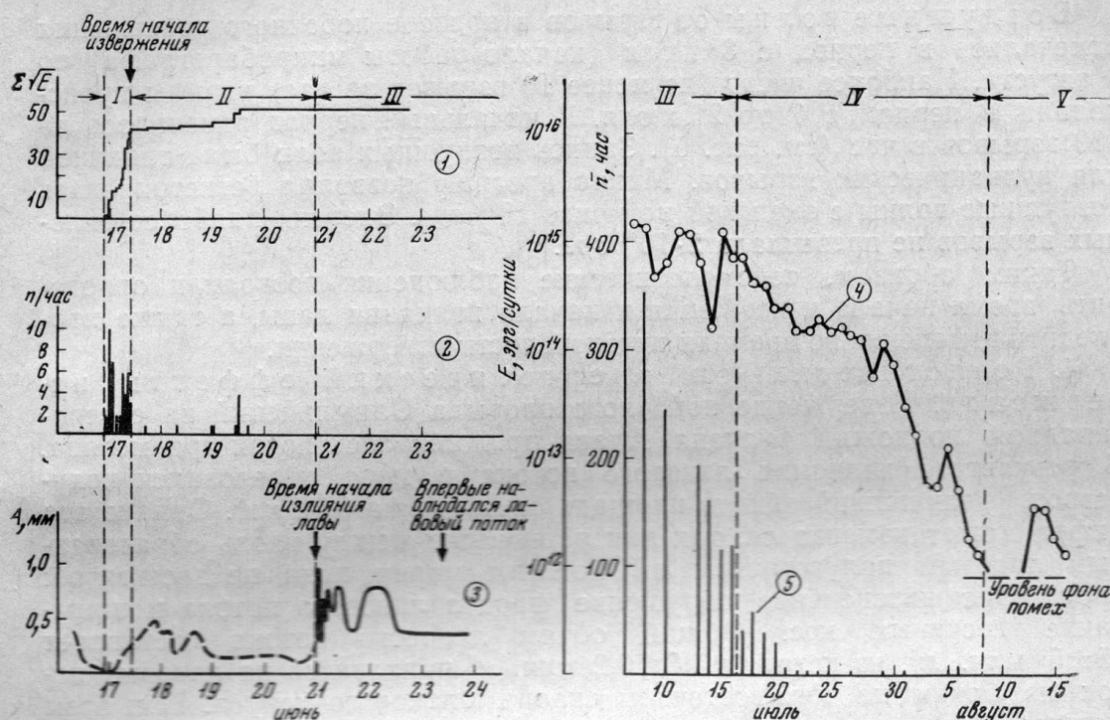


Рис. 6. Характеристики сейсмической активности по данным сейсмостанций «Северо-Курильск» (17—24 июня) и «Алаид» (7 июля — 16 августа). Время гринвичское

1 — график накопления условных деформаций $\Sigma\sqrt{E}$ эрг, рассчитанный по энергии вулканических землетрясений; 2 — почасовое распределение числа землетрясений, п/час; 3 — амплитуда микросейсм (пунктирная кривая) и вулканического дрожания Амм; 4 — график суточных значений энергии вулканического дрожания, E эрг/сутки; 5 — среднее (за сутки) число взрывов в час по записи микробарографа (п/час). 1—3 — по данным сейсмических станций «Северо-Курильск», 17—24.VI 1972, 4—5 — «Алаид», 7.07—16.08.72. I—V — этапы деятельности вулкана (пояснение в тексте)

20 час. 18 июня. Наиболее вероятно, что извержение началось в интервале 20—22 час. 18 июня по камчатскому времени.

Вулканическое дрожание, представляющее собой поверхностные волны, с преобладающим периодом 0,8 сек. и амплитудой около 1 мм (0,06 м) на сейсмостанции «Северо-Курильск» появилось 22 июня в 11 час. 43 мин. и через 45 мин. достигло максимального значения (см. рис. 6). Это свидетельствует о том, что фонтанирование лавы и излияние лавового потока начались около 11 час. 40 мин. 22 июня.

По данным сейсмостанции «Алаид», вулканическое дрожание с преобладающим периодом 0,7 сек. продолжалось непрерывно до 8 августа (см. рис. 6). Отмечавшиеся слабые колебания в период с 8 по 17 августа, возможно, являются микросейсмами. В период наблюдений с 7 июля по 8 августа на сейсмостанции «Алаид» на фоне непрерывного вулканического дрожания только изредка можно выделить поверхностные волны взрывных землетрясений. Интенсивность дрожания непрерывно уменьшалась, и к концу срока наблюдений его энергия уменьшилась на три порядка. Представление об изменении энергии непрерывного вулканического дрожания во времени дает кривая 4 (см. рис. 6). Энергия дрожания определялась по стандартной формуле (Токарев, 1966). Частота взрывов, регистрируемых микробарографом, также постепенно уменьшалась, а начиная с 21 июля взрывы регистрировались очень редко.

Воздушные волны от взрывов в кратере побочного извержения отмечались в период с 8 июля (начало работы микробарографа) по 9 августа. Наиболее часто (не менее 10 взрывов за час) взрывы происходили в период с 7 по 21 июля. В начальный период отмечалось до 300 взрывов в час (см. рис. 6). Запись воздушных волн была типичной для вулканических взрывов. Микробарограф позволял регистрировать воздушные волны с энергией не менее 10^{13} эрг. Энергия наиболее сильных взрывов не превышала $2 \cdot 10^{16}$ эрг.

Таким образом, сейсмологические наблюдения позволили определить время начала извержения и начала излияния лавы, а также проследить изменение во времени интенсивности извержения.

4. Геологический и энергетический эффекты извержения. Извержение побочного прорыва Олимпийский на северо-западном подножии вулкана Алаид продолжалось почти три месяца. В результате излияния лавового потока в море образовался полуостров, увеличивший общую площадь о. Алаид на $0,72 \text{ км}^2$. Однако эта цифра может измениться, так как равновесие между вновь образованным лавовым полуостровом и Охотским морем пока не достигнуто: происходит интенсивное обрушение фронта лавового потока и намывание песчаных кос. Общий объем лавового потока составляет 45 ± 5 млн. м^3 , из которых $1,8 \pm 0,2$ млн. м^3 приходится на лавовый поток из бокки на юго-восточном склоне шлакового конуса. При этом мощность лавового потока из основного кратера колеблется в пределах от 35 до 60 м, а лавового потока из бокки — от 10 до 18 м.

В связи с положением побочного прорыва на берегу Охотского моря оценка объемов резургентного и пирокластического материалов носит приблизительный характер, за исключением объема шлакового конуса, который составляет 1,0 млн. м^3 . Мощность пирокластического материала у подножия шлакового конуса достигает 4—5 м. Если принять эффективный радиус зоны, в пределах которой мощность пепла уменьшается до 5 см, равным 5 км (см. рис. 2), то общий объем пепла превышает 100 млн. м^3 . Необходимо отметить, что утром 19 июня пепел выпадал даже на Паужетке, на удалении 110 км от места извержения (25 г/м^2). Исходя из мощности и радиуса разноса, объем резургентного материала оценивается в 20 млн. м^3 , а объем образованных взрывных воронок составляет 8 млн. м^3 . Расхождения цифр связаны с тем, что выброшенный из воронок резургентный материал имеет меньший объемный вес, чем ненарушенные породы постройки, и, кроме того, наблюдающиеся в настоящее время воронки частично засыпаны резургентным материалом и пирокластикой.

Объемы извергнутого материала позволяют оценить энергию извержения. Тепловая энергия лав и пирокластического материала при остывании на 1000°C составляет $3,6 \cdot 10^{24}$ эрг, а кинетическая энергия, затраченная на выброс резургентного и пирокластического материала, оценивается нами в $6,5 \cdot 10^{21}$ эрг, т. е. на три порядка меньше.

5. Петрография, минералогия и химизм продуктов извержения. Весь ювенильный вулканический материал извержения — лавовые потоки, бомбы, пеплы — по петрографическим и петрохимическим особенностям относится к высокоглиноземистым базальтам с несколько повышенной щелочностью. Количественно-минералогический состав, структуры и текстуры заметно изменялись в ходе извержения (табл. 1).

Первый ювенильный материал извержения — бомбы и «выплески» лав из взрывных воронок — представлен базальтами, для которых характерны олигофировые структуры и мелкопузыристые текстуры со

следами течения. Основная масса гиалопилитовой структуры, составляющая в среднем 96%, сложена стеклом с кристаллитами, в которой плавают микролиты и мелкие фенокристаллы плагиоклаза, пироксена, оливина, магнетита и единичные зерна амфибола и биотита. Текстура основной массы участками флюидальная.

Базальты четырех порций лавового потока (см. раздел 2) характеризуются типоморфным составом вкрапленников и микролитов (плагиоклаз, пироксен, оливин, магнетит) и в тех или иных количествах содержат стекло (см. табл. 1). Базальты 1-й порции потока по структурно-текстурным характеристикам сходны с таковыми взрывных воронок и бомб и отличаются от них несколько меньшим количеством стекла. По мере излияния порций потока в породах последовательно увеличивается кристалличность, уменьшается содержание стекла, фенокристаллы увеличиваются в размерах, появляются промежуточные генерации минералов. В соответствии с этим олигофировые структуры в 1-й порции сменяются на порфиоровые в последующих порциях. Изменяется также характер пористости — неравномерно-пузыристые со следами течения породы сменяются равномерно-пористыми.

Состав базальтов вулканических бомб соответствует составу синхронных им лавовых излияний.

Наиболее распространенным минералом в породах является плагиоклаз. Кристаллы его имеют форму широких, слегка удлиненных табличек размером от 0,2—1,0 мм в ранних порциях до 0,5—4,0 мм в поздних. Фенокристаллы и микролиты плагиоклаза, как правило, сдвойникованы по альбит-карлсбадскому, карлсбадскому и альбитовому законам. Они обычно зональны, но встречаются и незональные кристаллы. В ранних порциях лав состав плагиоклаза изменяется от анортита № 92—94 в ядрах зональных фенокристаллов до лабрадора № 59 (среднее из 28 замеров) в краевых зонах и микролитах, а в поздних порциях — от анортита № 92—94 в ядрах до лабрадора № 55 (среднее из 28 замеров) в микролитах.

Размер фенокристаллов моноклинного пироксена возрастает от 0,3—0,4 мм в ранних порциях лав до 0,7—2,0 мм в конечных порциях. По оптическим свойствам пироксен может быть отнесен к высококальциевым авгитам (фенокристаллы: $2V=57-62^\circ$, $n_p=1,698\pm0,006$; микролиты $2V=55-60^\circ$). Четких изменений оптических констант пироксена от начальных порций к конечным не обнаружено.

Размер кристаллов оливина варьирует от 0,3 до 1 мм. Оливин бесцветный и относится к хризолиту: $n_p=1,680\pm0,006$, $2V=-86-88^\circ$ (по одному выходу оптической оси).

Амфибол ($c:N_g=10-12^\circ$, $2V=-60-72^\circ$ по одному выходу оптической оси) встречается только в лавах ранних выбросов из I и II воронок в виде единичных зерен размером до 0,5 мм. Он имеет желтовато-зеленый цвет и плеохроирует в желтоватых тонах.

Мелкие чешуйки биотита (до 0,3 мм) встречены лишь в выбросах лав из I воронки. Цвет минерала зеленовато-бурый, $n_m=1,631\pm0,010$.

Несмотря на резкие различия количественно-минералогического состава пород, степени кристалличности, структур и текстур, химический состав пород в целом довольно постоянен (табл. 2). Породы относятся к высокоглиноземистым базальтам со слегка повышенной щелочностью, при повышенной роли калия в балансе щелочей. Несколько отличаются базальты взрывных воронок (первый ювенильный материал) слегка повышенным содержанием кремнезема, щелочей в основном за счет калия и пониженным содержанием магния. При этом отношение K_2O/MgO увеличивается от 0,34—0,39 до 0,42—0,47.

Таблица 1

Количественно-минералогический состав пород прорыва Олимпийский (1972 г.)

Состав	Эксплозивные воронки	1-я порция потока	2-я порция потока	3-я порция потока	4-я порция потока		Бомбы	
					начало	конец	ранние	4-6.VII
Основная масса	96,0—99,2	95,5—97,0	89,3—91,2	79,2—81,4	74,0—75,8	68,0—71,0	97,5	85,0—86,0
Стекло (в том числе)	60—80	55—75	—	25—50	—	25—40	—	—
Плагиоклаз	0,4—0,9	1,1—1,6	6,0—8,0	10,5—14,8	16,8—19,0	19,0—25,0	1,1	9,5—12,0
Пироксен	0,1—0,8	1,0—1,2	1,9—2,2	4,2—4,5	4,5—6,3	5,1—7,0	1,4	3,8—3,9
Оливин	Единичные зерна	0,1—0,4	0,1—0,2	0,4—0,6	0,6—1,3	0,6—1,8	0,1	0,4—0,5
Рудный	То же	0,6—1,0	0,3—0,7	1,8—2,7	1,0—1,3	1,4—2,8	0,1	0,5—0,6
Амфибол, биотит	»	—	—	—	—	—	—	—

Среди включений в лавах эруптивных выбросов встречены — базальты главной постройки вулкана Алайд: андезиты, андезитодациты, пемзы и вулканогенно-осадочные породы. Включения наиболее характерны для ранних порций лавы. В бомбах и шлаках верхних взрывных воронок (первый ювенильный материал) наиболее часто встречаются включения пироксен-роговообманковых андезитов в виде плоских лепешек размером до $5 \times 3 \times 0,5$ см, располагающихся согласно с флюидальностью вмещающих базальтов. Под микроскопом границы включений и вмещающих базальтов нечеткие. Андезиты включений состоят из хорошо ограненных кристаллов плагиоклаза, амфибола, пироксена и пузырчатого стекла, причем общее содержание вкрапленников не превышает 35—40%. Химический состав андезита одного из включений приведен в табл. 2.

Наибольший интерес представляют включения пемз в бомбах шлакового конуса и в лавах I взрывной воронки. Пемзовые включения весьма разнообразны по размерам, цвету, текстуре и химическому составу (см. табл. 2). Наиболее крупные включения содержатся в бомбах шлакового конуса. Размер таких бомб иногда достигает 0,5—1,0 м по длинной оси, центральные их части выполнены пемзой, а внешние представляют собой базальтовую оторочку мощностью от 0,2 до 15 см. В контактовых зонах некоторых бомб наблюдается полосчатое строение с чередованием полос шлаковидных базальтов и пемз.

Пемзы состоят из пузыристого стекла с многочисленными, но очень мелкими обломочками плагиоклаза и пятнышками рудного минерала. На стенках многих крупных пор отмечаются возгоны тридимита. В зонах контакта пемза — базальт наблюдается довольно отчетливое смешение материала, выражающееся в появлении стекла промежуточного состава. Химический состав отдельных цветковых и текстурных разновидностей пемз в пределах одной бомбы различается очень сильно (см. табл. 2). Все разновидности пемз характеризуются очень низким содержанием щелочей, причем с ростом кислотности пород количество щелочей уменьшается. Отмеченные выше особенности контактов пемза — базальт определенно указывают на то, что перед выбросом на поверхность пемзы представляли собой «капли» кислого расплава в базальтовой магме. Уплощенная форма включений андезитов, согласующихся с флюидальностью, и нечеткие границы раздела базальт-включения позволяют распространить это заключение и на андезитовые включения. Однако генезис включений остается неясным. Отметим только, что по особенностям химизма пемзы не похожи на нормально-магматические породы.

Основной объем вулканических пеплов был выброшен кульминационными взрывами, образовавшими эксплозивные кратеры. Ось пеплопада в первый день извержения была направлена на запад-северо-запад, а количество пепла, выпавшего в 1 км от центра извержения, составило около 100 кг/м^2 . Пепел этой фазы извержения (обр. II-1 и II-2 в табл. 3) представляет собой на 90% резургентный материал, содержащий четко выраженные кристаллы пироксена, плагиоклаза и обломки основной массы базальтов.

Пеплы, образованные в последующие стадии активности, представлены почти целиком ювенильным материалом. Характеристика их приведена в табл. 3. В них выделяются две разновидности стекла: зеленое прозрачное вспененное стекло и непрозрачное темное стекло, насыщенное микролитами. Наряду со стеклом в пеплах встречаются также отдельные кристаллы плагиоклаза, пироксена и оливина, суммарное содержание которых не превышает 20%.

Таблица 2

Химический состав пород прорыва Олимпийский (1972 г.)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	50,74	50,12	50,52	48,96	49,56	49,50	49,22	49,34	49,26	49,34	49,52	49,48	49,08	85,38	74,68	85,70	65,38	59,92	76,24
TiO ₂	1,05	1,01	0,97	1,03	1,03	1,01	1,0	1,01	1,20	1,01	1,05	1,00	1,01	0,35	0,55	0,28	0,60	0,61	0,37
Al ₂ O ₃	18,40	18,58	18,46	18,46	18,86	18,92	18,35	18,92	18,01	18,67	18,31	18,39	18,45	6,21	9,73	7,35	14,48	18,12	10,98
Fe ₂ O ₃	3,60	4,36	2,89	3,91	4,12	3,57	4,26	3,64	4,14	4,87	4,44	4,09	4,87	0,32	0,57	0,29	1,43	2,99	0,21
FeO	6,65	5,96	7,33	6,61	6,36	6,78	6,26	6,52	6,40	5,89	6,18	6,28	4,71	2,61	4,25	1,20	4,28	2,48	1,35
MnO	0,23	0,21	0,23	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,23	0,23	0,21	0,20	0,02	0,07	0,01	0,05	0,18	0,02
MgO	4,10	4,54	4,25	4,88	5,16	5,03	4,84	5,02	5,01	4,73	4,86	4,87	4,79	0,66	1,68	0,60	3,18	1,55	0,80
CaO	9,36	9,26	9,78	9,74	9,57	9,75	9,73	9,63	9,61	9,45	9,36	9,46	9,04	1,72	2,96	1,42	2,39	6,64	2,11
Na ₂ O	3,39	3,29	3,30	3,27	3,19	3,04	3,27	3,13	3,27	3,25	3,25	3,22	3,15	1,72	2,52	1,72	2,47	4,10	4,96
K ₂ O	1,92	1,84	1,92	1,75	1,76	1,72	1,75	1,72	1,80	1,81	1,68	1,82	1,71	1,00	1,63	1,29	2,26	2,48	1,36
H ₂ O ⁻	0,25	0,06	0,20	0,20	—	0,06	0,18	0,04	0,20	0,06	0,12	0,06	0,74	0,30	0,24	0,20	0,32	0,23	0,40
H ₂ O ⁺	0,05	0,09	0,06	0,08	0,15	0,14	0,04	0,12	He обн.	0,09	—	0,08	1,17	0,06	—	0,10	0,12	0,06	0,36
P ₂ O ₅	0,37	0,41	0,37	0,27	0,38	0,29	0,29	0,28	0,29	0,29	0,38	0,41	0,41	0,09	0,13	0,06	0,06	0,38	0,17
CO ₂	—	0,16	—	—	—	—	—	—	—	0,12	0,10	0,08	0,16	—	—	—	—	0,26	0,16
SO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,28	—	0,45	—	3,31	—	—
Сумма	100,11	99,89	100,26	99,43	100,35	100,02	99,40	99,65	99,40	99,81	99,48	99,45	99,51	100,44	99,46	100,22	100,33	100,05	99,49

Примечание: 1 — базальт I взрывной воронки (обр. 18-72); 2-3 — базальты II взрывной воронки (обр. 15-41, 368); 4 — базальт 1-й порции лавового потока (обр. 372); 5 — базальт 2-й порции лавового потока (обр. 425); 6 — базальт 3-й порции лавового потока (обр. 427); 7-8 — базальты 4-й порции лавового потока (обр. 17-1, 430); 9 — базальт лавового потока бокки (обр. 5-17); 10-12 — 6% бы шлакового конуса: 10 — ранние выбросы (обр. 366), 11-12 — последующие 4-6/VII (обр. 369, 370); 13 — пепел взрывной воронки (обр. Ю-11-1); 14-15 — пемзовое включение в базальтовой бомбе: 14 — центральная часть (обр. 5801/1); 15 — красная часть (обр. 5801/2); 16-17 — пемзовое включение в базальтовой бомбе 16-участок белого цвета (обр. 5800/2); 17 — плотная часть включений (обр. 5800/9), 18 — включение биотит-амфиболового андезита в базальтовой бомбе (обр. Ю-342); 19 — пемзовое включение в базальтовой бомбе (обр. Ю-340). Анализы выполнены в лаборатории Института вулканологии (1972 г.): 1, 3, 14-16 — Н. Р. Гусковой; 5, 6, 8 — Л. Карташевой; 9, 10-13 — О. М. Табаковой; 4, 7, 9, 17 — Г. Ф. Князевой; 18, 19 — Г. П. Новоселцкой.

6. Вулканические газы и возгоны. Опробование фумарольных газов проводилось с 24 августа по 14 сентября, когда извержение еще продолжалось: из основного кратера происходило излияние 4-й порции лавы, из газовой бокки, находящейся выше жерла на 20 м, наблюдалось периодическое отделение голубоватых газов с шумом, напоминающим работу кузнечных мехов. Интенсивная фумарольная деятельность отмечалась на лавовом потоке, шлаковом конусе и в эксплозивных воронках. Результаты анализа газов приведены в табл. 4, а места их отбора показаны на рис. 2.

Таблица 3

Характеристика вулканических пеплов извержения побочных кратеров вулкана Алаид

Образец	Время выпадения	Место отбора	Интенсивность пеплопада, г/м ² час	Гранулометрический состав (содержание фракций, %)							
				0,4 мм	0,315 мм	0,20 мм	0,18 мм	0,10 мм	0,083 мм	0,05 мм	<0,05 мм
II-1	18 июня*	1 км к С от конуса	—	46,79	4,97	7,60	3,38	11,02	—	—	25,75
II-2	18 июня*	Склон II воронки	—	13,19	11,55	12,16	9,28	25,47	—	—	28,31
A	19—29 июня	1,5 км к ЮВ от кратера	230,8	31,08	3,29	18,42	15,37	—	—	—	31,86
A-1	1 июля, 16.00—16.15	300 м к В от кратера	365,2	47,84	17,78	7,95	5,46	8,70	—	—	12,24
A-2	1 июля, 18.00—18.30	2,5 км к ЮВ от кратера (лагерь)	20,2	—	—	—	—	—	—	—	100,0
A-3	2 июля, 17.30—18.00	2,5 км к ЮВ от кратера	262,2	2,28	15,49	45,28	13,16	—	—	—	24,11
A-4	2 июля, 19.00—19.40	Там же	778,8	45,54	20,32	19,30	4,54	5,59	1,37	1,63	2,02
A-5	20 июля	»	104,6	0,17	1,84	45,65	20,13	25,05	4,71	1,27	1,15

* Пеплы, соответствующие кульминационным взрывам, образовавшим воронки, отобраны после их отложения.

Согласно классификации И. Ивасаки (1966) среди вулканических газов извержения выделяются «реальные магматические газы», «фумарольные газы с температурой выше критической для воды» и «газы с температурой ниже критической для воды». «Реальные магматические газы» отмечались в центре шлакового конуса (точка 7). Они содержали мало воды и отличались высокими концентрациями SO₂, HCl, HF, H₂ и низкими CO₂. Для них характерно высокое отношение N₂/O₂, а также низкое отношение HCl+HF/H₂S+SO₂, что всегда отличает магматические газы от фумарольных.

«Фумарольные газы с температурой выше критической для воды» проявлялись в районе шлакового конуса и на гребне II воронки (точки 2, 3). Состав их определяли HF, HCl, SO₂, пары воды при высоком отношении N₂/O₂.

«Фумарольные газы с температурой ниже критической для воды» отмечались на лавовом потоке и на перемычке в двойной воронке II (точки 1, 4, 6). Здесь газы отличались наиболее сложным составом и содержали H₂O, HCl, HF, SO₂, H₂S, CH₄, CO₂, O₂ и N₂.

Таблица 4

Состав фумарольных газов Олимпийского прорыва вулкана Алаид (об. %)

Точки	Дата	Т, °С	Вулканические газы без учета воды и воздуха						
			HF	HCl	SO ₂	H ₂ S	H ₂	CO ₂	CH ₄
1	24 августа	280	5,20	58,82	1,23	3,03	10,95	18,87	1,85
1	1 сентября	280	3,26	37,52	4,71	0,61	13,60	38,04	2,26
1	3 сентября	280	6,31	60,19	4,25	3,28	8,77	16,48	0,72
2	25 августа	580	40,48	30,41	0,37	0,00	0,00	28,74	0,00
3	28 августа	470	3,84	91,91	2,19	0,00	0,00	2,06	0,00
4	28 августа	260	10,95	66,11	0,09	0,00	0,00	22,85	0,00
5	2 сентября	450	12,77	64,54	0,33	0,00	0,00	22,36	0,00
6	3 сентября	180	0,45	75,51	0,76	6,72	6,72	13,75	0,00
7	4 сентября	900	2,36	70,75	23,58	0,00	0,00	3,31	0,00
7	14 сентября	900	1,42	26,73	6,04	0,00	53,22	12,59	0,00

* Сумма вулканических газов.

В составе фумарольных газов отмечается отсутствие зависимости между их температурой и относительными содержаниями HF, HCl, SO₂, CO₂, что видно из данных табл. 4. Величины отношений HCl/HF, HCl+HF/SO₂+H₂S и HCl+HF+SO₂+H₂S/CO₂ варьируют в широких пределах. Отсутствие такой закономерности, отмечавшейся неоднократно в вулканологической литературе, говорит о неустановившемся равновесии в газовой системе фумарол. С другой стороны, для таких компонентов, как H₂O, H₂, H₂S, CH₄, наблюдается определенная корреляция между их содержанием и температурой фумарольных газов. Содержание H₂O увеличивается, а H₂ — уменьшается с уменьшением температуры газов. H₂S и CH₄ характерны лишь для низкотемпературных газов.

В целом состав газов при всех температурах был довольно однообразным. Для всех проб было характерно необычайно высокое содержание HCl и HF и относительно низкое — SO₂, H₂S и CO₂. Состав фумарольных газов вулкана Алаид в опробованный период, видимо, отражает общий состав летучих, характерных для заключительных стадий извержения. В этот период фумарольные газы еще слабо дифференцированы в зависимости от температуры и места их проявления. Состав газов извержения вулкана Алаид довольно заметно отличается от газов Ключевского вулкана более высокими содержаниями паров воды, HCl, HF и относительно небольшими — SO₂ и H₂S.

Одновременно с отбором газов на химический анализ в тех же фумаролах определялась концентрация радона. Измерения проводились с помощью α -сцинтилляционной установки «Альфа-1». Предварительно откачанные камеры подключались в схему опробования непосредственно за конденсатоотборником. Измеренные содержания Rn в сухом остатке приведены в табл. 4. Поскольку концентрации Rn в значительной мере зависят от степени разбавления газов воздухом, в измеренные величины введены поправки. При вычислении поправок предполагалось, что весь кислород и соответствующее ему количество азота являются воздушной примесью. Во внимание принимался лишь сухой газ без паров воды. Данные табл. 4 показывают, что в целом содержание радона в фумаролах Олимпийского прорыва низкое и по величине со-

с учетом конденсатов (1972 г.)

Фумарольные газы				Концентрация Rn (10^{-10} кюри/л)	
$\Sigma_{в.г}^*$	H ₂ O	O ₂	N ₂	измерено в сухом фумарольном газе	исправлено за разбавление воздухом
0,13	98,32	0,34	1,21	—	—
0,45	98,21	0,28	1,06	3,5	13,5
0,14	98,72	0,21	0,77	—	—
0,27	97,07	0,54	2,12	1,5	12,5
0,15	0,00	21,34	78,51	0,0	0,0
0,82	92,44	0,69	6,05	1,5	2,5
0,59	90,17	0,63	8,61	1,0	1,5
0,13	99,21	0,14	0,43	—	—
0,45	0,00	21,15	78,40	—	—
8,86	67,62	2,25	21,17	30,0	45,0

поставимо с содержанием его в других действующих вулканах Камчатки и Курильских островов. Повышенная концентрация радона отмечается в газах лавового жерла (проба 7), где на поверхность выходят наименее метаморфизованные магматические газы.

Среди возгонов вулканических эксгаляций по предварительным данным иммерсионного и спектрального анализов были выделены окислы, сульфиды, галогениды (хлориды, фториды) и сульфаты. Окислы представлены тридимитом ($n \sim 1,47$), гематитом, магнетитом; сульфиды — халькопиритом, пиритом; галогениды — галитом ($n = 1,54$), нашатырем, хлоридами Fe, малладритом ($n \sim 1,3$); сульфаты — гипсом, полугидратом, ангидритом, сульфатом (?) меди. В довольно больших количествах отмечается элементарная сера. По встречаемости следует отметить преобладание окислов кремния, для которых характерна большая насыщенность такими металлами, как таллий, свинец, олово, цинк, висмут, молибден, медь, серебро и индий.

7. В ы в о д ы. Проведенный комплекс исследований позволяет увязать данные о ходе извержения и сопутствующих ему явлениях с процессами, проходящими в поднимающемся магматическом расплаве.

В целом в деятельности побочного прорыва выделяются следующие этапы: 1-й этап (10 час. 54 мин.— 22 час. 18 июня) — этап подготовки извержения, в который происходило множество вулканических землетрясений II типа, отражающих процесс скрытого движения магмы к поверхности; 2-й этап (21 час. 18 июня — 11 час. 40 мин. 22 июня) — этап взрывной деятельности с образованием взрывных воронок; 3-й этап (22 июня — 16 июля) — этап взрывно-эффузивной деятельности с непрерывным излиянием и фонтанированием лавы, сопровождающимися интенсивным вулканическим дрожанием; 4-й этап (16 июля — 8 августа) — этап преобладания эффузивной деятельности с постепенным затуханием взрывов и вулканического дрожания; 5-й этап (8 августа — 10 сентября) — этап чисто эффузивной деятельности; 6-й этап — этап постэруптивной деятельности.

Результаты изучения продуктов извержения в различные этапы деятельности позволяют в какой-то мере судить о характере дифференциации и кристаллизации в поднимающейся магматической колонне.

Отмечается слабая тенденция к накоплению кремнезема и щелочей, особенно калия, и к уменьшению содержания магния в верхних частях магматической колонны, что обусловлено, видимо, гравитационной дифференциацией. Кристаллизация амфибола и биотита в верхней части магматической колонны (первые порции) в соответствии с данными А. А. Кадика и др. (1971), очевидно, связана с повышением активности калия и воды при высоком парциальном давлении последней. Согласно экспериментальным данным (Йодер, Тилли, 1965) условием кристаллизации амфиболов из базальтовых расплавов является давление воды, превышающее 1400 бар, что соответствует 3—4 вес. % ее концентрации. О высоком содержании летучих, в особенности в верхних частях магматической колонны, свидетельствуют мощные эруптивные выбросы бомб в ранние стадии извержения.

Полученные данные о петрографии продуктов ранних стадий извержения свидетельствуют о том, что магматический расплав поступал к земной поверхности почти без кристаллической фазы. Кристаллизация в основном проходила в приповерхностных и поверхностных условиях по мере подъема и излияния расплава. Уменьшение в расплаве газовой фазы (дегазация) приводит к закономерному уменьшению температур кристаллизации и повышению вязкости расплава. Это в свою очередь приводит к расширению поля кристаллизации минералов, что и фиксируется на последних порциях лавы.

Извержение побочных кратеров вулкана Алаид до некоторой степени является уникальным, так как лавовый поток излился непосредственно в море. В целях изучения характера поведения отдельных элементов на границе морская вода — лава производились отбор проб морской воды и замеры температуры на разном удалении от фронта лавового потока и на различных горизонтах.

Необходимо отметить, что в статье приведены лишь первые предварительные результаты извержения. Подробный анализ извержения будет опубликован позже, после детальной обработки всех материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- Горшков Г. С. Каталог действующих вулканов Курильских островов.— Бюлл. вулканол. станций, 1957, № 25.
- Горшков Г. С. Вулканизм Курильской островной дуги. М., «Наука», 1967.
- Йодер Г. С., Тилли К. Э. Происхождение базальтовых магм. М., «Мир», 1965.
- Кадик А. А., Лебедев Е. Б., Хитаров Н. И. Вода в магматических расплавах. М., «Наука», 1971.
- Куно Х. Латеральная вариация базальтовой магмы вкост окраины континентов и островных дуг.— В кн.: Окраины континентов и островные дуги. М., «Мир», 1970.
- Мархинин Е. К. Роль вулканизма в формировании земной коры. М., «Наука», 1967.
- Мархинин Е. К., Стратула Д. С. Некоторые петрологические, геохимические и геофизические аспекты связи вулканизма с глубинами Земли.— В сб.: Вулканизм и глубины земли. М., «Наука», 1971.
- Токарев П. И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М., «Наука», 1966.
- Федотов С. А. Энергетическая классификация курило-камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М., «Наука», 1972.